

3：農林業生態系を対象とした温室効果ガス吸収排出制御技術の開発と評価

(3 a) 農業生態系におけるCH₄、N₂Oソース抑制技術の開発と評価

(1) わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂Oソース制御技術の開発と広域評価

2) わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂Oソースデータベースの構築と削減効果の広域評価

独立行政法人農業環境技術研究所

物質循環研究領域

八木一行・秋山博子・麓 多門

大気環境研究領域

横沢正幸

北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター

波多野隆介

北海道立上川農業試験場 研究部 栽培環境科

櫻井道彦・柳原哲司・三浦 周・楠目俊三

独立行政法人海洋研究開発機構 地球フロンティア研究システム

大気組成変動予測研究領域

顔 暁元

<研究協力者> 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター

当真 要・木 志堅

東京農工大学 大学院共生科学技術研究院

木村園子

平成15～19年度合計予算額 68,733千円

(うち、平成19年度予算額 16,133千円)

上記の合計予算額には、間接経費 15,861千円を含む

[要旨] わが国とアジア地域の農耕地からのCH₄、N₂O発生実測値に関する既往文献の収集からデータベースを構築し、統計モデルによる解析から排出係数とその変動要因を評価した。その結果は2006年IPCCガイドラインにおけるデフォルト値 (Tier 1手法) として採用された。この手法を用いた算定から、世界の水田からのCH₄発生量は25.1 Tg yr⁻¹ (誤差範囲: 14.8~45.1 Tg yr⁻¹) であり、水管理と有機物管理により、それぞれ4.1 Tg yr⁻¹が削減可能であると推定された。また、わが国の農耕地からのN₂Oソースデータベースを整理し、合成肥料および有機肥料からのN₂O排出係数は、茶を除く畑、茶、および水田について、それぞれ0.62%±0.48%、2.9%±1.8%、および0.31%±0.31%を用いることが適切であると考えられた。

北海道中央部の集水域を対象に、農耕地からのGHG発生量を流域レベルで推定するため、モニタリングによる測定結果を土壌環境因子と肥培管理因子によってパラメタリゼーションして推定する手法 (流域複合生態系解析手法) を開発した。その解析の結果、水田、たまねぎ、穀類の土地利用種がGHG発生量に寄与の大きいことが示され、これらの生産性により環境負荷が増加していることが明らかになった。さらに、エコバランスのシナリオ解析により、各年のGWPを6%削

減するためには豆類を増加し水田を減少させるなど、望ましい土地利用計画を策定した。

GHGソース削減効果のTier 3手法による広域評価を可能とするため、わが国各地の水田からのCH₄発生実測データを用いてプロセスモデル（DNDCモデル）の改良を行い、土壌型と稲わら施用法が異なる水田からのCH₄発生量をほぼ推定できたことから、改良したモデルは広域評価のために有効であると考えられた。さらに、北海道について広域評価を試み、全道の水田からの平均年間CH₄排出量（CO₂換算）は4.2 Mg CO₂ ha⁻¹ y⁻¹ で、水管理の改善により発生量を約40%削減できると推定された。

[キーワード] メタン、亜酸化窒素、農耕地、データベース、モデル

1. はじめに

地球規模でのメタン(CH₄)および亜酸化窒素(N₂O)発生量のそれぞれ約40%は、農耕地と畜産業等、農業生態系が起源となっている(IPCC、2007)。これらのソースは、水田面積の拡大、窒素肥料使用量の増加など、食糧生産の増大と密接に関係し、19世紀以降の大気中でのこれらの温室効果ガス(GHG)濃度増加に大きく影響してきた。一方、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第三作業部会報告書でも指摘されているように、これらのソースは、農耕地の栽培管理、施肥方法などの技術開発により、地球温暖化の緩和へ大きな貢献の出来る可能性がある(IPCC、2007)。実際、これまでの研究から、数多くの効果的な制御技術が提案されており、国内外の関連学会や地球圏生物圏国際共同研究(IGBP)等の場において活発な議論がなされている。

このような議論における現在の問題点として、1) 気候や土壌など農業生態系の多様性のため、それぞれのソース制御技術について十分な定量的評価が得られていないこと、2) これまでに提案されている制御技術の多くは、GHG制御効果だけに着目したため、経済性や生産効率に対する配慮が欠けており、第一約束期間以降(ポスト京都)にはこれらの問題を含んだ実効的な技術開発が必要とされること、3) 点データから広域評価を可能とするためのデータベースの構築と広域評価手法の開発が必要であること、が指摘されている。

2. 研究目的

上記の問題に対し、本研究では、わが国とアジア諸国の農耕地における実効的なCH₄、N₂O発生制御技術の定量的総合評価とその広域削減予察評価を目標としている。そのため、本サブサブテーマでは、既存の各地での現地試験結果から、わが国とアジア地域における農業生態系からのCH₄、N₂O発生に関するデータベースを構築する。さらに、構築したデータベースとGHGソース制御技術の定量結果から、わが国とアジア地域における農業生態系からのCH₄、N₂O発生制御技術の削減効果に対する広域評価を行う。これらの成果を総合し、サブサブテーマ(1)–(1)における現地試験およびサブテーマ(2)における畜産課題の成果とあわせて、わが国とアジア諸国の農業生態系におけるCH₄、N₂Oソース制御技術を確立するとともに、それらのソースインベントリーを精緻化し、削減効果の定量的評価を可能とすることを目的とする。

3. 研究方法

わが国とアジア諸国の農耕地におけるCH₄、N₂O発生に関する既存の情報を収集し、GHG発生とその制御技術に関するデータベースを構築するとともに、フラックスや排出係数の変動要因の評価、および排出係数と総排出量の不確実性評価を行う。さらに、地理統計的手法、プロセスモデル等を用いたGHGソース削減効果の広域評価を可能とするための手法開発を行った。

(1) CH₄、N₂Oソースデータベースの構築と統計モデルによる解析

既往文献を収集し、わが国とアジア地域の農耕地からのCH₄、N₂O発生実測値のデータベース化を行った。さらに、発生量（排出係数）と発生に及ぼす影響因子の解析を行い、CH₄削減ポテンシャルの推定およびN₂O削減法の評価を行った。

1) アジア諸国の水田からのCH₄発生データベースの解析および世界の発生量推定と削減ポテンシャルの推定

アジア諸国における水田からのCH₄発生実測データ（8カ国、103地点、868栽培期間データ）については、栽培期間の平均CH₄フラックス（*flux*）と各発生制御要因の関係を以下に示す線形混合モデルにより解析した。

$$\ln(\text{flux}) = \text{Intercept} + a \times \ln(\text{OC}) + b \times \text{pH} + \text{PW}_i + \text{Water}_j + \text{Climate}_k + \text{OM}_l \times \ln(1 + \text{AOM})$$

ここで、*OC*は土壌炭素含量、*pH*は土壌pH、*PW_i*は耕作前の水分環境、*Water_j*は栽培期間の水管理、*Climate_k*はFAO農業生態地域区分による気候要因、*OM_l*は施用有機物の種類、*AOM*は施用有機物の量をそれぞれ表す。その解析結果を用いて、排出係数や各種制御要因の寄与（拡大係数）を定量した。

2) 世界の水田からのCH₄発生量推定と削減ポテンシャルの推定

本研究における上記の解析結果をもとに改訂された新しいIPCC2006ガイドライン（IPCC、2006）における排出係数および拡大係数を用いて、世界の水田からのCH₄発生量を推定した。また拡大係数を用いて水管理と有機物管理による削減ポテンシャルの推定を行った。

3) 世界の水田からのN₂O発生量評価

アジア地域の水田からのN₂O発生量データ（29地点、149測定）を収集し、排出係数の推定を行った。

4) わが国の農耕地からのN₂O排出係数の算定

過去（2005年版まで）の日本国温室効果ガスインベントリ報告書において改善が求められて

いた指摘事項（合成肥料、有機質肥料からの N_2O 算定において、排出係数は窒素無施用区（コントロール区）での排出量、すなわちバックグラウンドの排出量を差し引かないで求められている）に対応するため、わが国における N_2O の圃場実測データ（原著論文、報告書；38報告、252測定）のデータベースを構築し、栽培期間よりも測定期間がかなり短いもの、一般的でない栽培法などを除き、36地点、246測定データについて解析し、新しい排出係数の推定を行った。

（2）流域複合生態系解析による CH_4 、 N_2O 削減効果の定量的評価

1）温室効果ガスフラックスのモニタリングおよびパラメタリゼーション

調査対象地の幾春別川流域は、札幌より北東に42kmの北海道中央部に位置し、全面積は約36000haである。2002年から2007年にかけて、この流域内において21の圃場（9種の土地利用、延べ47地点・年）において、クローズドチャンバー法により N_2O 、 CH_4 および CO_2 フラックスを測定した。タマネギ圃場GLとBLについては①通常栽培（化学肥料＋植栽）区、②化学肥料＋無植栽区、③無化学肥料＋植栽区、④裸地区（無化学肥料＋無植栽）区の4処理を設け、他の区については、通常栽培区および裸地区について測定を行った。それぞれの区で各ガスを3～4反復で測定した。 N_2O 、 CH_4 および CO_2 濃度はそれぞれECD付GC、FID付GCおよび赤外線 CO_2 分析計で測定した。測定時に気温、地温（5cm）、土壌水分（0-5cm）を測定し、表層土壌の攪乱試料を採取し、硝酸態窒素、アンモニウム態窒素および水溶性有機態炭素濃度を測定した。

N_2O 放出量は化学肥料由来、投入有機物由来、土壌有機物分解由来の3起源に分けた。①区-③区で化学肥料由来の N_2O 放出量、①区-②区で投入有機物（植物残渣）由来の N_2O 放出量を推定し、④区の N_2O 放出量を土壌有機物由来の放出量とした。放出量は下記の式で表される。

$$N_2O = EFF \times \text{化学肥料窒素量} + EFO \times \text{投入有機物窒素量} + \text{土壌有機物由来}N_2O \quad \dots \text{式1}$$

EFFは化学肥料のエミッションファクター、EFOは有機物のエミッションファクターである。

2）土地利用および土壌因子の空間分布の解析

幾春別川流域内の土地利用を調べるため、2002年、2005年および2007年に土地利用の分布を踏査によって調べた。調査結果は、ArcView9.1によってデジタル化し、面積を算出した。対象地域内の土壌統は、地力保全基本調査(1976)の結果を利用し、流域内の14の土壌統について土壌の性質についてデジタル図を作成した。

3）各土地利用における炭素・窒素収支の見積もり

主な土地利用の炭素と窒素の投入量、収穫物の持ち出し量、残渣の残存量について農家の聞き取り調査を行った。調査は2002/3、2005/6および2007/11から2008/2にかけて行った。

1から3の結果を用い、2002、2005および2007年度の幾春別川流域内の農耕地における地球温暖化ポテンシャル(GWP、IPCC 2001)を求めた。地球温暖化ポテンシャルは、100年間において、 CH_4 と N_2O の1gが CO_2 の23gおよび296gに相当する温室効果を有するとし、 CO_2 等量で表した。各年次における余剰窒素および生産性との関係を解析した。

(3) 水田からのCH₄発生評価に対するプロセスモデルの適用

1) DNDCモデルの検証と改良

水田からのCH₄排出量を予測するため、米国ニューハンプシャー大学で開発された生物地球化学プロセスモデルDNDC (Li et al., 2004) の検証と改良を行った。DNDCは、気象情報（日最高・最低気温、降水量）、土壌情報（全炭素、土性、pH、容積重）および栽培管理情報（移植・収穫日、耕起、施肥、水管理）を入力データとし、これらに基づいて土壌の物理環境（水分、温度）、生物化学プロセス（有機物分解、酸化還元電位の変化、CH₄の生成と排出など）、さらにイネの成長を計算する。本研究では、北海道の水田（上富良野、士別、鷹栖、旭川、比布）で実測されたCH₄排出量とモデルによる予測値を比較することによって、モデルの問題点を抽出して改良した。さらに、本州の4地点（山形、郡山、つくば、龍ヶ崎）で水管理またはわら施用法を変えてCH₄排出量を実測したデータを収集し、改良したモデルを検証した。

2) 北海道の水田からのCH₄排出量の広域評価

改良したDNDCモデルを適用して、北海道の水田のCH₄排出量について広域評価を試みた。そのために、北海道の水田の土壌と栽培管理について既存のデータベース(DB)を調査し、DNDCモデルの入力データを収集して新たなDBを作成した。調査したDBは、地力保全基本調査、上川農試土壌分析および北海道米麦改良協会による北海道米の広域調査である。これらのDBから土壌(全炭素、土性、pH、容積重、酸性シュウ酸塩抽出鉄、排水性)および栽培管理(移植・収穫日、わら処理、施肥、水管理)のデータを抽出し、3次メッシュコードをキーとして集計した。さらに各メッシュに対応した2000年の気象データ(日最高・最低気温、降水量、日照時間)を統合して、DNDCの入力DBを作成した。このDBをDNDCに入力し、2000年における各3次メッシュの水田からのCH₄排出量を推定した。さらに、水田の水管理によるCH₄排出削減効果を評価するため、中干しの回数や長さを変えた場合のCH₄排出量を推定した。

4. 結果・考察

(1) CH₄、N₂Oソースデータベースの構築と統計モデルによる解析

1) アジア地域の水田からのCH₄発生量評価

アジア諸国における水田からのCH₄発生実測データ(8カ国、103地点、868栽培期間データ)について、データベースを構築し、線形混合モデルにより解析した結果、解析に用いたすべての制御要因のCH₄フラックスに対する寄与は有意であったが、気候要因のF値は最小であった。

表1. 水田タイプと耕作期間中の水管理別のCH₄フラックス拡大係数

Water Regime		Aggregated case		Disaggregated case	
		Scaling Factor (SF _w)	Error Range	Scaling Factor (SF _w)	Error Range
Upland		0	-	0	-
Irrigated	Continuously flooded			1	0.79-1.26
	Intermittently flooded – single aeration	0.78	0.62-0.98	0.60	0.46-0.80
	Intermittently flooded – multiple aeration			0.52	0.41-0.66
Rainfed	Regular rainfed			0.28	0.21-0.37
	Drought prone	0.27	0.21-0.34	0.25	0.18-0.36
	Deep water			0.31	ND

そこで、気候要因を除外して再度解析を行った結果、 CH_4 フラックスは土壌炭素含量と正の、土壌pHとは負の相関を持つことが示された。また、水田タイプと耕作期間中の水管理別の影響は表1に示される拡大係数 (SFw) が求められたほか、耕作前の湛水は栽培期間の CH_4 フラックスを2.7倍増化させること、施用有機物の種類と量により CH_4 フラックス増加効果は異なり、重量あたりの増加効果は、稲わら>緑肥>きゅう肥>堆肥であることが示された (図1)。ベースライン管理、すなわち、水稲耕作のための湛水前に180日以内の排水期間があり、水稲栽培期間中は常時湛水、有機物無施用条件での CH_4 排出係数は130 (誤差範囲：80-220) $\text{mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ と算出された。

2) 世界の水田からの CH_4 排出量と削減ポテンシャルの推定

上記のデータベース解析より算定したベースライン管理条件での CH_4 排出係数と拡大係数を用いて、世界の水田からの CH_4 排出量を推定した結果、世界の水田からの CH_4 排出量は25.1 Tg yr^{-1} (誤差範囲：14.8 ~ 45.1 Tg yr^{-1}) と推定された (図2)。世界の排出量のうち半分以上が中国とインドからの排出であり、90%以上はモンスーンアジア地域からの排出であると推定された。世界の水田の分布地図を用いて推定した結果、水田からの CH_4 排出のホットスポット (排出量の最も多い地域) は、バングラデシュ、ミャンマーおよびヴェトナムに分布する大河川のデルタ地帯であると考えられた。

また、削減ポテンシャルの推定を行った結果、世界のすべての灌漑水田において、間断灌漑を行ったと仮定すると、 4.3 Tg yr^{-1} の CH_4 が削減可能であると推定された。また、世界のすべての単作水田のわらと二毛作水田のうちの一期目のわらを耕作前30日以前にすき込んだと仮定すると、 4.3 Tg yr^{-1} の CH_4 が削減可能であると推定された。さらに、上記の管理（間断灌漑およびわら耕作前30日以前すき込み）を同時に行った場合、 7.5 Tg yr^{-1} の CH_4 が削減可能であると推定された（図3）。

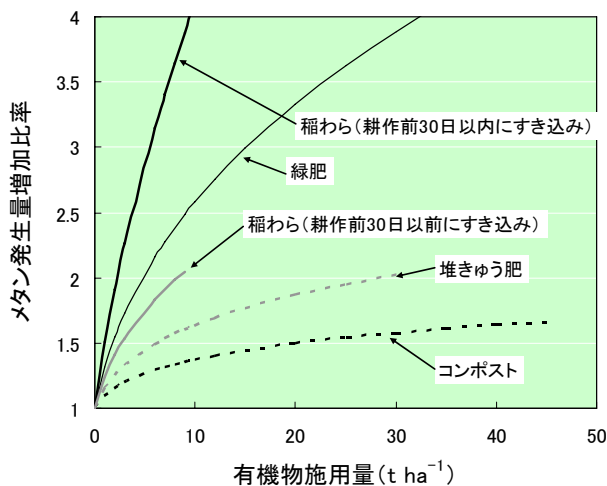


図1. 有機物施用にともなう CH_4 発生量増加効果の解析結果

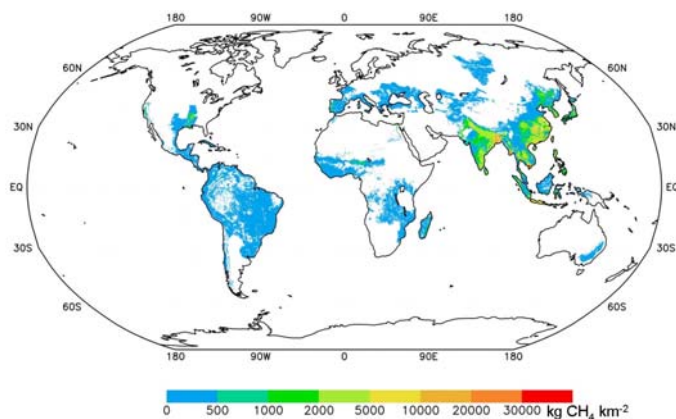


図2. 世界の水田からの CH_4 排出量の推定結果（世界全体の水田からの CH_4 の排出量： 25.1 Tg yr^{-1} ）

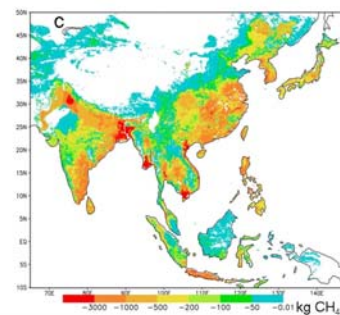
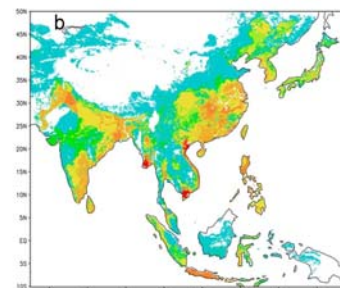
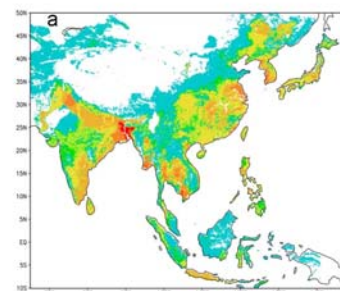


図3. 世界の水田からの CH_4 排出削減ポテンシャル. a) すべての灌漑水田において、間断灌漑を行った場合. b) わらを耕作前30日以前にすき込んだ場合. c) 両技術を同時に行った場合.

3) 世界の水田からの N_2O 発生量評価

世界の水田からの N_2O 発生量データ（29地点、149測定）のうち、化学肥料または有機物肥料を施用した水田について解析した結果、常時湛水田よりも中干しあり水田のほうが N_2O 発生量は大きかった。しかし、このうち排出係数の計算可能なデータについて解析した結果、 N_2O 排出係数

には水管理の違いによる統計的な差はみられず、排出係数の平均値(±標準偏差)は施肥窒素量の0.31 (±0.31)%であり、改訂前のIPCCの推定値 (1.25%; IPCC、2000) よりも低いことが示された(表2)。

表2. 化学肥料または有機物肥料を施用した水田からの耕作期間におけるN₂O発生量と排出係数

水管理	平均	標準偏差	中央値	データ数	最大値	最小値
N₂O-N 発生量[‡] (g N ha⁻¹)						
常時湛水	341 a*	474	131	25	2150	28
中干しあり	993 b	1075	619	35	4416	26
天水田 (雨期)	188 ab	75	232	5	249	97
すべての水管理 [‡]	667	885	254	68	4416	26
N₂O-N 排出係数[‡] (%)						
常時湛水	0.22 a	0.24	0.10	16	0.69	0.003
中干しあり	0.37 a	0.35	0.28	23	1.16	0.02
天水田 (雨期)	ND [#]	ND [#]	ND [#]	ND [#]	ND [#]	ND [#]
すべての水管理 [‡]	0.31	0.31	0.16	39	1.16	0.003

[‡] 窒素施用量は水田によって異なっていた。

[†] 水管理の不明なものも含んでいるため、データ数は各水管理の合計と一致しない。

[‡] 窒素施用区の N₂O 発生量から窒素無施用区の N₂O 発生量を差し引いた場合の、施用窒素量あたりの N₂O-N 発生率を表す。

[#] ND, 窒素無施用区がないため、排出係数の計算が不可能である。

* 異なる英字は P < 0.05 で有意差がみられたことを示す (Tukey 法)。

4) わが国の農耕地からのN₂O排出係数の算定

日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (GIO、2005) について、訪問審査において改善が求められていた指摘事項 (合成肥料、有機質肥料からのN₂O算定において、排出係数は窒素無施用区 (コントロール区) での排出量、すなわちバックグラウンドの排出量を差し引かないで求められている) に対応するため、無窒素区のデータを差し引いて新たに解析を行った。その結果、わが国の農耕地からのN₂O 排出係数は、茶を除く畑における合成肥料および有機肥料からは、0.62%±0.48%と算定された(表3)。また、茶については2.9%±1.8%、水田についてはアジアの平均値 (0.31%±0.31%) を用いることが適切であることを明らかにした。一方、間接排出 (溶脱・流出; 地下水を経由して河川から海洋へ輸送される過程で発生するN₂O) については1.24% (±0.6-2.5%) を用い、間接排出 (大気沈降) および作物残渣については、日本での実測データが不足していることからIPCCデフォルト値を用いることがもっとも適切であることを明らかにした。以上の結果をとりまとめ、日本の農耕地からのN₂O排出を網羅した新しい排出係数を提案した(表3)。これらの結果は現在までに入手可能な日本の実測データを網羅したものであることから、現時点では最も信頼性が高い算定値であるといえる。しかしながら、日本における実測例がほとんどないカテゴリー (作物残渣等) や、無窒素区のデータの得られなかったカテゴリー (茶等) については、実測データを蓄積し排出係数を改訂していく必要があると考えられる。

表3 日本の農耕地におけるN₂Oの排出係数

排出源区分*	作物種	排出係数 (kgN ₂ O-N/kgN)	不確実性 (kgN ₂ O-N/kgN)	出典・根拠
合成肥料および 有機肥料	水稲	0.31%	±0.31%	文献1,2
	茶	2.90%	±1.8%	
	その他作物	0.62%	±0.48%	
作物残渣		1.25%	±0.25-6%	IPCCデフォルト値
間接発生(大気沈降) [#]		1.00%	±0.5%	IPCCデフォルト値
間接発生(溶脱・流出) ^{##}		1.24%	±0.6-2.5%	文献1, 3

* 有機質土壌の耕起については、IPCCデフォルト値(排出係数: 8 kg N₂O-N/ha/yr; 不確実性: 1-80 kg N₂O-N/ha/yr)の使用を提案した。

間接発生(大気沈降)とは、施肥した窒素が大気中に揮散したあとふたたび地上に沈着して発生するN₂Oを示す。

間接発生(溶脱・流出)とは、地下水を經由して河川から海洋へ輸送される過程で発生するN₂Oを示す。

文献1: Akiyama, Yan, and Yagi, Soil Science and Plant Nutrition, 52, 774-787 (2006)

文献2: Akiyama, Yagi, and Yan, Global Biogeochem. Cycles, 18, GB2012 (2005)

文献3: Sawamoto, Nakajima, Kasuya, Tsuruta, and Yagi, Geophys. Res. Lett., 32, L03403 (2005)

(2) 流域複合生態系解析によるCH₄、N₂O削減効果の定量的評価

1) 温室効果ガスフラックスのモニタリングおよびパラメタリゼーション

GLとBLにおけるN₂O放出量のEFFおよびEF_Oを図4に示した。EFFは1.3~5.5%と常に正の値を示したが、EF_Oは-5.2~9.1%と大きな幅を示した。2地点についての結果が存在する2005および2006年を見ると、EFFは2地点ともに2006年の方が2005年より大きい傾向を示したが、EF_Oは同一年次でも正と負と大きく異なった。堆肥および緑肥の施用と土壌の違いが脱窒によるN₂O生成割合に影響したことが、EF_Oの圃場間の違いの一因と考えられる。

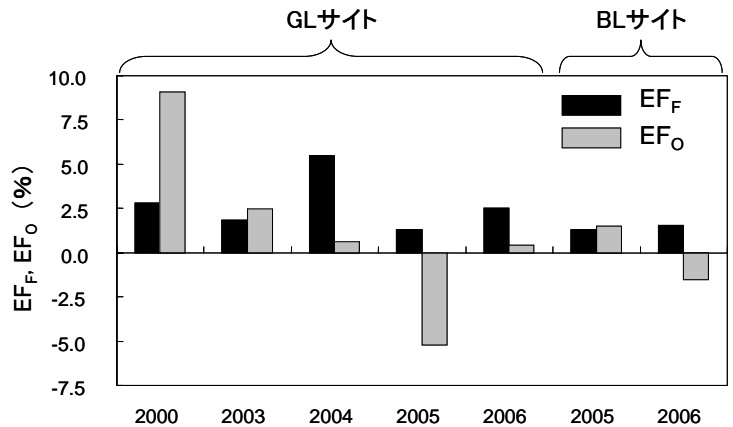


図4 化学肥料と有機物のEFの年次変動

各年について得られたEFF、EF_Oおよび土壌有機物由来N₂O放出量と気象条件の諸因子と比較したところ、平均気温との単回帰また、年平均気圧、年間降水量と重回帰された。回帰式は下記の通りである。

$$EFF(\%) = 3.99 \times \text{年平均気温}(\text{°C}) - 28.2 \quad (R^2=0.93, P<0.01) \quad \dots \text{式2}$$

$$EF_O(\%) = 7.68 \times \text{年平均気圧}(\text{hPa}) + 0.03 \times \text{年間降水量}(\text{mm yr}^{-1}) - 7760 \quad (R^2=0.99, P<0.01) \quad \dots \text{式3}$$

$$\text{土壌有機物由来N}_2\text{O発生量}(\text{kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}) = -4.30 \times \text{年平均気圧}(\text{hPa}) - 433 \quad (R^2=0.93, P<0.01) \quad \dots \text{式4}$$

式2-4を過去の気象条件に当てはめ、BLにおける①区の測定結果と比較した(図5)。概ね実測値と同じオーダーの推定となり、対象地におけるN₂O放出量を比較的良く反映していた。実測で非常に高い放出量を示した2001年については過小評価に、また実測で5 kg N ha⁻¹ yr⁻¹前後であった1997年および1998年については10 kg N ha⁻¹ yr⁻¹と過大評価が見られた。誤差伝播の法則によって求めた95%の信頼区間は実測、推定値ともに非常に大きく、N₂O放出量の推定の難しさを示している。

水田について肥培管理法、土壌因子によって解析した結果、N₂O、CH₄およびCO₂フラックスともに稲ワラの残存量に大きく影響されていた。

$$\text{CH}_4(\text{kgC ha}^{-1}) = 0.486 \times x - 16.4 \quad (R^2 = 0.884) \quad \dots\text{式5}$$

$$\text{CO}_2(\text{kgC ha}^{-1}) = 1.23x + 56.86 \quad (R^2=0.941) \quad \dots\text{式6}$$

$$\text{N}_2\text{O}(\text{kgN ha}^{-1}) = 0.0044x - 1.63 \quad (R^2=0.999) \quad \dots\text{式7}$$

(x: 稲ワラ残存量 (kg C ha⁻¹))

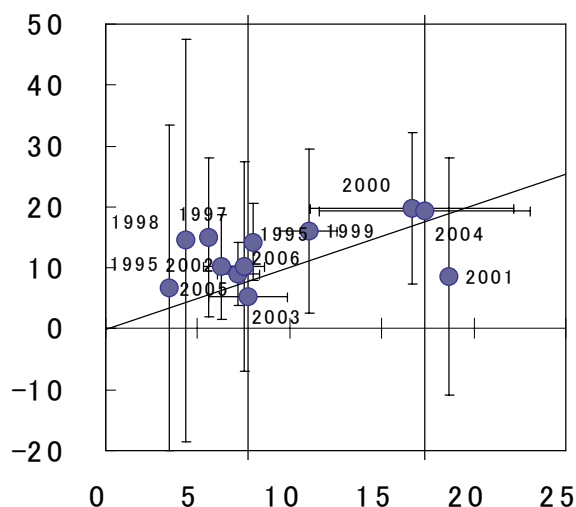


図5 N₂O発生量実測値と計算値の対応. ※エラーバー: 95%信頼区間

2) 土地利用および土壌因子の空間分布の解析

2002、2005および2007年の土地利用の変遷を調べた結果、水田が最も高い土地利用種であったが、減少する傾向が明確になった。同様にタマネギと休耕地の土地利用種も減少していた。その一方で増加しているのが、野菜および草地であった。豆類は最も少ない土地利用種である。

3) 各土地利用における炭素・窒素収支の見積もり

聞き取り調査の結果を式2~7に当てはめ、各土地利用の単位面積当たりのGWPを求めた(図6)。2002および2005年で各土地利用のGWPの順位は同じであり、水田のGWPはそれぞれ21および23 Mg CO₂eq ha⁻¹ yr⁻¹と最も大きい値を示し、ついで玉葱が18および22 Mg CO₂eq ha⁻¹ yr⁻¹で続いた。2007年のGWPは他の年次と比べ全体的に大きく、特に残渣の持ち出し量が多かった穀物と野菜で最も高くそれぞれ27 Mg CO₂eq ha⁻¹ yr⁻¹となった。

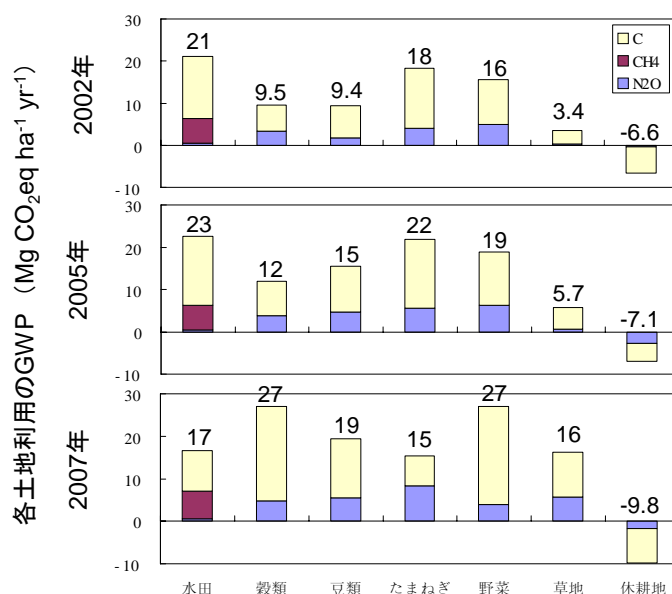


図6 聞き取り調査より得られた各土地利用の地球温暖化ポテンシャル (GWP)

休耕地では全ての年で残渣投入による炭素の蓄積があり、GWPは負の値 ($-9.8 \sim -6.6 \text{ Mg CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) をとった。GWPへの寄与は CO_2 が最も高く、ついで水田では CH_4 が、その他の土地利用では N_2O が高かった。

4) 幾春別川流域における地球温暖化ポテンシャルの推移

以上の結果から、2002、2005および2007年における幾春別川流域の農地のGWPを求めた。GWPは2002年 ($18824 \text{ Mg CO}_2\text{eq yr}^{-1}$) から2007年 ($26248 \text{ Mg CO}_2\text{eq yr}^{-1}$) まで増加していた。この原因として、野菜および草地における面積の増加と単位面積当たりのGWPの増加が考えられる。穀類の面積はほぼ一定だったが、単位面積当たりのGWPが増加しており、2007年には流域全体に占める割合は2002と2005年のそれぞれ13%から2007年の25%にまで増加していた。 CO_2 の寄与が各年次最も大きく67~73%であった。ついで N_2O が16~23%、 CH_4 が9~14%であった。土地利用では水田の寄与が最も高く負荷の23~46%を占め、ついでタマネギ (15~30%) の寄与が大きかった (図7)。その他については、穀類 (12~24%)、野菜 (5~18%)、草地 (3~18%)、豆類 (3~4%) であった。休耕地は全放出量に対して8~9%の削減効果を有した。

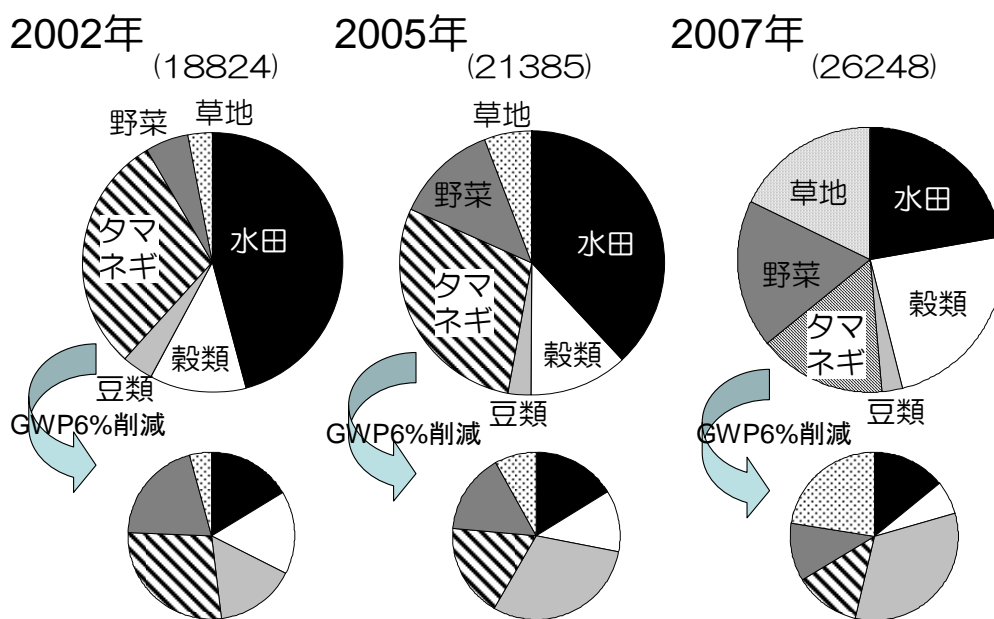


図7 各年の流域全体の総GWP(放出源の内訳). ※休耕地は吸収源. 括弧の値は流域GWPの合計値 ($\text{Mg CO}_2\text{eq yr}^{-1}$)

5) 各年における土地利用ごとのエコバランス評価

2002、2005および2007年の農地余剰窒素の流域平均は、30.4、41.3および46.8 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、収穫物窒素は79.4、80.4および83.6 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった。これらの値とGWPの流域平均を用い、削減シナリオの環境負荷と生産性の関係解析 (エコバランス評価) を行った。

7種の土地利用をそれぞれ0から100%まで10%単位で増減させると8008通りの組合せが可能

である。それぞれの組合せでGWP、農地余剰窒素量、生産量を算出し、各年の値よりGWPを6%削減、生産量を維持、かつ余剰窒素を50 kg N ha⁻¹ yr⁻¹以下にした場合の土地利用の組み合わせを、2002年、2005年、2007年について抽出した。2002年では57個、2005年では44個、2007年では37個の組合せが抽出され、GWP、生産性および余剰窒素の取りうる範囲が大きくなるに従い、設定した削減シナリオに該当する土地利用の組合せが減少した（表4）。シナリオの平均値を比べると、2002年の生産性（93.8 kg N ha⁻¹ yr⁻¹）が2005年（98.4 kg N ha⁻¹ yr⁻¹）より有意に低く、2007年の余剰窒素量（12.6 kg N ha⁻¹ yr⁻¹）が2002年および2005年より有意に高かった（Fisher's LSD, P<0.05）。各年次の流域平均とシナリオの平均値を比べると生産量はいずれの年も1.18~1.20とほぼ同じ割合で増加した。余剰窒素は2002年ではシナリオ結果で流域平均より増加する傾向が、2005、2007年では減少する傾向があった。

シナリオの土地利用割合の平均値ではいずれの年も水田がもっとも低く、いずれの年も高い割合を示したのが豆類、ついで草地、休耕地であった。シナリオ平均値より各土地利用のGWPへの寄与を算出したところ、水田の寄与は14~16%、穀類の寄与は6~16%に減少した。また、豆類の寄与は16~33%に増加し、流域レベルでのGWPに関して土地利用間種間でのトレードオフ関係が見られた（図7）。休耕地は全放出量に対して5~7%の削減効果を有した。

表4 2002年を基準とし、GWPを6%削減、生産量を維持、かつ余剰窒素を50 kg N ha⁻¹以下にした場合の土地利用の組み合わせのまとめ

	流域平均			組合 せ数	シナリオ結果						シナリオ/当年比			
	GWP	生産量	余剰窒素		GWP	生産量			余剰窒素			GWP	生産 量	余剰 窒素
	(Mg CO ₂ eq ha ⁻¹)	(kg N ha ⁻¹)	(kg N ha ⁻¹)		(Mg CO ₂ eq ha ⁻¹)	ave	min	max	ave	min	max			
2002年	11.1	79.4	30.4	57	10.4	93.8	79.6	111.8	37.1	16.9	49.9	0.94	1.18	1.22
2005年	13.6	80.4	41.3	44	12.8	96.7	80.7	118.7	31.2	-19.1	48.6	0.94	1.20	0.76
2007年	16.1	83.6	46.8	37	15.1	98.4	84.1	117.5	12.6	-29.8	48.9	0.94	1.18	0.27

6) まとめ

本研究では、N₂OおよびCO₂放出量と気象要因との関係を、CH₄放出量と稲ワラ施用量との関係を解析することにより、流域レベルで土地利用および気象条件の変化に伴う農耕地からの温室効果ガス放出量の変化を見積もる方法を確立した。解析の結果、流域の温室効果ガス放出量に影響の大きい土地利用が明確になり、水田、たまねぎ、穀類の土地利用種の寄与が大きいことが示された。GWPと農地余剰窒素および収穫物窒素の関係解析により、2002年から2007年にかけて生産性が増加し、同時に環境負荷が増加していることが明らかになった。エコバランスのシナリオ解析により、各年のGWPを6%削減できる土地利用の組合せを解析した結果、豆類を増加、水田を減少させる傾向の土地利用の組合せが望ましいとされ、土地利用種間のトレードオフ関係が解析できた。今後の課題として、水田での稲ワラ回収によるCH₄放出の抑制と、畑草地における緑肥、堆肥、

残渣の有機物投入による土壌炭素固定の促進、といった流域全体での有機物管理があげられる。

(3) 水田からのCH₄発生評価に対するプロセスモデルの適用

1) DNDCモデルの検証と改良

北海道の水田で実測されたCH₄排出量はグライ土（上富良野）＞灰色低地土（士別、鷹栖）＞褐色低地土（旭川、比布）という傾向があり、排水性の悪い土壌でCH₄排出量が多くなることが示唆された。また、5000 kg ha⁻¹のわらを施用した場合のCH₄排出量は、春施用区で無施用区の360～1260 %、秋施用区で無施用区の680 %となり、わらの施用によりCH₄排出量が顕著に増加した。本州での実測においても、わらの施用によりCH₄排出量が増加し、また中干日数の延長や間断灌漑の実施によってCH₄排出量が減少した。しかし、北海道の水田にDNDCを適用したところ、CH₄排出量に対する土壌型の影響を十分に評価できなかった。さらに、わら施用区のCH₄排出量が無施用区の110～130 %にとどまり、CH₄排出量に対するわら施用の影響を過小評価した。これらの問題点に対処するため、主に土壌プロセスについてDNDCを改良した。改良したDNDCの主な特徴は以下の通りである。

- ① 有機物の分解速度を土壌の温度、水分およびO₂濃度の関数として計算する。モデル中のパラメータは栃木県における稲わら分解の実測データに基づいて校正した。
- ② 有機物の嫌氣的分解による電子供与体（H₂と溶存有機体炭素）の生成を計算し、電子供与体濃度に基づいてCH₄の生成、3価鉄の2価鉄への還元などを計算する。
- ③ 落水時には、土壌のO₂濃度に基づいてCH₄や2価鉄の酸化を計算する。
- ④ 従来のモデルでは土壌水分を計算するために土性から圃場容水量を推定していたが、土壌型や暗渠の有無から圃場容水量を推定する。土壌型による排水性の違いを反映するため、暗渠が無い場合のグライ土、灰色低地土および褐色低地土の圃場容水量を、それぞれ全孔隙の95%、85%および75%と仮定した。

改良したDNDCを北海道の水田に適用すると、土壌型やわら施用によるCH₄排出量の変化をほぼ推定できた。さらに、本州の水田についても、わら施用や水管理によるCH₄排出量の変化をほぼ推定できた（図8）。北海道と本州での実測データを合わせて、改良したDNDCによる年間CH₄排出量の推定値は実測値と高い相関（決定係数0.93）があり、CH₄排出量の推定に有効であることが確かめられた。

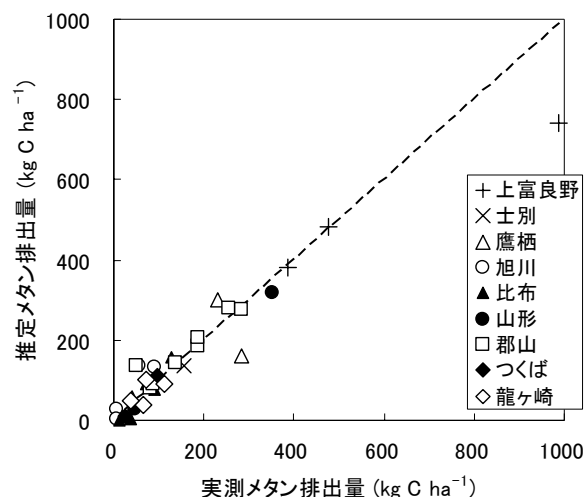


図8 各地の水田からの年間メタン排出量の実測値と推定値の比較

2) 北海道の水田からのCH₄排出量の広域評価

北海道で水田に該当する3次メッシュは約2000あるが、2000年の栽培管理データが得られたの

は61メッシュであり、水田面積としては全道の作付け面積の2.6% (3,544ha) だった。しかし、これらのメッシュは道内の水田作付け地帯のほぼ全域に分布しており (図9)、北海道の水田の平均的なCH₄排出量の推定が可能と考えた。中干は幼穂形成期前 (6月後半) または出穂期前 (7月後半) に行われており、1回の中干しの平均日数はおよそ5日間だった。連続湛水の水田の面積割合が48%、中干し1回 (幼穂形成期前または出穂期前) が31%、中干し2回が21%だった。収穫後の稲わらの処理は、春鋤込みの水田が47%、秋鋤込みが30%、焼却あるいは搬出が23%だった。また、土壌の排水性 (改良普及員の観察による判断) は良が34%、並が59%、不良が6%であり、酸性シュウ酸塩抽出鉄 (Fe_o) 含有率の平均が0.94%、標準偏差が0.32%だった。

上記のデータをDNDCに入力してメッシュ毎のCH₄排出量を推定した。水管理のシナリオは、現行 (2000年時点) の水管理のほか、中干日数を1週間-1週間、2週間-なし、2週間-1週間、および2週間-2週間とした場合を評価した。この際、土壌の排水性 (良、並、不良) に応じて、圃場容水量をそれぞれ75%、85%および95%と仮定した。また、土壌微生物が還元できる3価鉄の含有率は、宮城県の水田土壌の実測データ (花木ら、002) を参考にしてFe_oの40%と仮定した。このようなシミュレーションの結果、現行の水管理での平均年間CH₄排出量 (CO₂換算) は4.2 Mg CO₂ ha⁻¹ y⁻¹ と推定された (図10)。また、全ての水田で2週間-2週間の中干を実施した場合の平均

CH₄排出量は2.5 Mg CO₂ ha⁻¹ y⁻¹ となり、現行の水管理に比較して40% (1.7 Mg CO₂ ha⁻¹ y⁻¹) の排出削減になると推定された。この推定を単純に日本全国の水田面積 (170万ha) に拡大すると、CH₄の排出削減量は2.9 Tg CO₂ y⁻¹ となり、日本の全温室効果ガス排出量の0.2%に相当する。ただし、水管理によるCH₄排出削減効果は土壌の特性や気象に影響されると考えられるので、全国規模の評価を行うためには全国の水田について同様の入力DBを整備する必要がある。また、中干期間を延長するとCO₂やN₂Oの排出量が増加する可能性があるが、本研究ではそれらの効果は考慮していない。

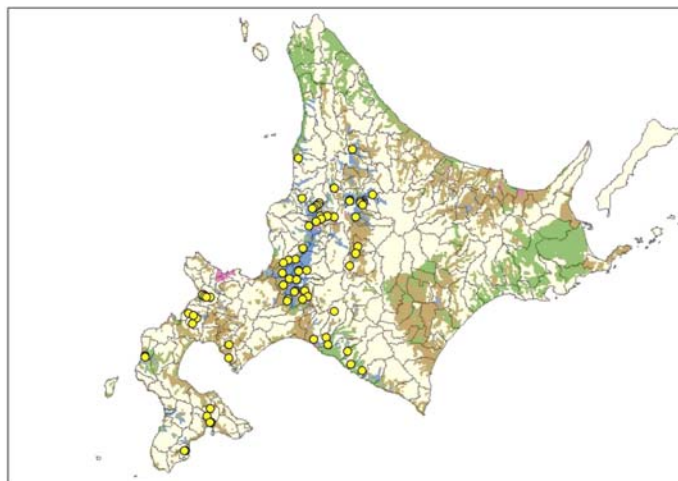


図9 水田のメタン排出量を推定した3次メッシュの位置

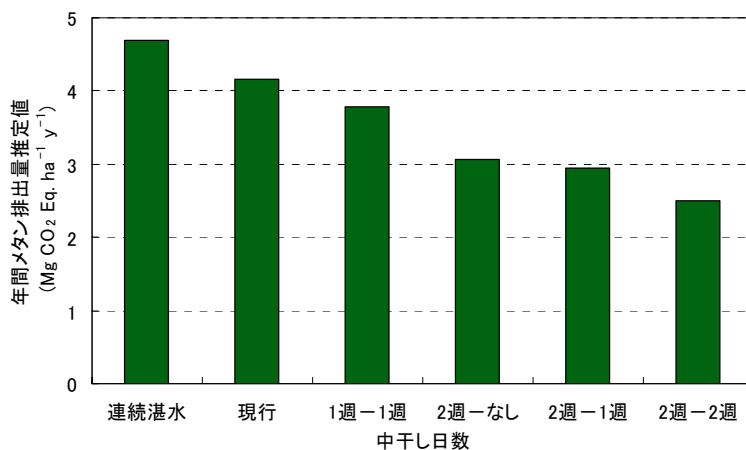


図10 北海道の水田の水管理を変化させた場合の平均メタン排出量 (CO₂換算) の推定値

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

GHGソースデータベースの構築とその解析から、排出係数や各種制御要因の寄与が定量された。これらの値は、IPCCガイドライン等、数少ないデータからエキスパートジャッジメントを加えて求められていた、地域や地球規模でのGHG排出量の見積もりを精緻化するものである。なお、これら構築したデータベースは、一部、参画機関のweb siteにて公開している。さらに、流域複合生態系解析やプロセスモデルの開発はGHGソース削減効果のTier 2および3による広域評価に必要であるが、アジアの環境条件において利用可能なものは開発されていない。本研究において、北海道内の広域評価を行うことから、それらの有効性が示された。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究により提案した世界の水田におけるCH₄発生量の算定方法およびN₂Oの排出係数については、2006年度に改訂されたIPCCガイドライン（2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories、IPCC、2006、Volume 4、p. 5-44～53；p. 11-10～11）に採用されたことから、今後は世界各国において水田からの温室効果ガスの発生量の算定に用いられる見込みであり、世界各国の温室効果ガスインベントリ作成に大きく貢献するものである。また、本研究により提案した日本の農耕地からのN₂O排出係数の改訂案は、環境省温室効果ガス排出量算定委員会での検討を経て、日本国温室効果ガスインベントリ報告書の2006年版から採用され、わが国の農耕地からの温室効果ガスの発生量の推定の精緻化に貢献した（GIO、日本国温室効果ガスインベントリ報告書、環境省、2006、p. 6-18～26）。これらの成果は国レベルだけでなく、地域レベルの温室効果ガスインベントリの作成にも利用可能であることから、より多くの自治体等での温室効果ガスの算定に用いられるよう、今後とも普及活動に努めていく。平成19年2月には、国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）の要請で、参画者が第4回「温室効果ガス算定に関わる国際ワークショップ（Jakarta、Indonesia）」に出席し、アジア各国におけるGHGインベントリ改善に対して貢献した。

6. 引用文献

- (1) IPCC (2007): IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Climate Change 2007, Cambridge University Press
- (2) IPCC (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories
- (3) IPCC (2006): 2006 Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- (4) 温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）（2005）：日本国温室効果ガスインベントリ報告書
- (5) 温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）（2006）：日本国温室効果ガスインベントリ報告書

書

- (6) C. Li, A. Mosier, R. Wassmann, et al., *Global Biogeochem. Cycles*, 18, GB1043 (2004):
Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: sensitivity
and upscaling
- (7) 花木真由美, 伊藤豊彰, 三枝正彦, *土肥誌*, 73, 135-143 (2002): 土壌型の異なる稲わら
施用水田からのメタン放出に対する不耕起栽培の影響

7. 国際共同研究等の状況

アジア地域の農耕地における実効的な CH_4 、 N_2O 発生制御技術の定量的総合評価とその広域削減
予察評価を効率的に推進するために、以下の研究機関との間に研究協定書を結び、連携に努めて
いる。共同して研究計画を企画立案するとともに、日本側から研究者が訪問し、必要な指導と支
援を行っている。

- (1) 研究所間協定覚え書きに基づく共同研究：中国科学院南京土壤研究所（代表：蔡祖聰）

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) S.D. Kimura, L. Liang and R. Hatano: *Nutr. Cycling Agroecosys.*, 70, 271-282
(2004) “Influence of N flow change on environment between 1912 and 2002: a case
study of one city in Hokkaido, Japan”
- 2) H. Akiyama, K. Yagi and Yan, X.: *Global Biogeochem. Cycle*, 19, GB1005,
doi:10.1029/2004GB002378 (2005) “Direct N_2O emissions from rice paddy fields:
summary of available data”
- 3) X. Yan, K. Yagi, H. Akiyama and H. Akimoto: *Global Change Biol.*, 11(7), 1311-1141
(2005) “Statistical analysis of the major variables controlling methane emission
from rice fields”
- 4) H. Akiyama, X. Yan and K. Yagi: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 774-787 (2006)
“Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N_2O emissions from
agricultural soils in Japan: summary of available data”
- 5) Z.J. Mu, S.D. Kimura and R. Hatano: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52, 371-377. doi:
10.1111/j.1747-0765.2006.00046.x (2006) “Estimation of global warming potential
from upland cropping systems in central Hokkaido, Japan”
- 6) T. Hosono, N. Hosoi, H. Akiyama and H. Tsuruta: *Nutr. Cycling Agroecosys.*, 75(1-3),
115-134 (2006) “Measurements of N_2O and NO emissions during tomato cultivation
using a flow-through chamber system in a glasshouse”
- 7) Y. Toma and R. Hatano: *Soil Sci. Plant Nutr.*, 53, 198-205. doi:

10. 1111/j.1747-0765.2007.00125.x (2007) “Effect of crop residue C:N ratio on N₂O emissions from Gray Lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan”
- 8) H.M. Naser, O. Nagata, S. Tamura and R. Hatano: Soil Sci. Plant Nutr., 53, 95-101. doi: 10.1111/j.1747-0765.2007.00105.x (2007) “Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan”
- 9) S.D. Kimura and R. Hatano: R.: Agri. Systems. 94, 165-176 (2007) “An Eco-Balance approach to evaluate the historical change in N loads caused by agricultural land-use change at a regional scale”
- 10) S.D. Kimura, Z. Mu, Y. Toma and R. Hatano: R.: Soil Sci. Plant Nutr., 53, 373-386 (2007) “An Eco-Balance Analysis of Six Agricultural Land Uses in the Ikushunbetsu Watershed”
- 11) Y. Toma, S.D. Kimura, Y. Hirose, K. Fujiwara, K. Kusa and R. Hatano: R.: Soil Sci. Plant Nutr., 53, 692-703 (2007) “Variation in the emission factor of N₂O derived from chemical nitrogen fertilizer and organic matter: A case study of onion fields in Mikasa, Hokkaido, Japan”
- 12) T. Fumoto, K. Kobayashi, C. Li, K. Yagi and T. Hasegawa: Global Change Biol., 14, 382-402 (2008) “Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes”
- 13) Z. Mu, S.D. Kimura, Y. Toma and R. Hatano: Jpn, J. Environ. Sci. (accepted) “N₂O fluxes from upland soils in central Hokkaido”
- 14) Z. Mu, S.D. Kimura, Y. Toma and R. Hatano: Soil Sci. Plant Nutr. (accepted) “Evaluation of soil carbon budget under different upland cropping systems in central Hokkaido”

<査読付論文に準ずる発表> (社会科学系の課題のみ記載可)

なし

<その他誌上発表 (査読なし)>

- 1) 秋山博子, 八木一行: Inventory, 4, 13-14 (2005) 「農耕地からのメタンおよび亜酸化窒素排出量の国別インベントリーとデータベースの現状」
- 2) 秋山博子, 八木一行: 農環研ニュース, 71, 5-6 (2006) 「農耕地から発生する亜酸化窒素の排出係数の推定と発生削減技術の開発」
- 3) 秋山博子: STAFF NEWS LETTER, 17, p7 (2006) 「水田から発生する亜酸化窒素の排出係数の基準値を大幅下方修正」
- 4) 秋山博子, 八木一行: 日本土壌肥科学雑誌, 77 (4), 465-466 (2006) 「農耕地から発

生する亜酸化窒素の排出係数の推定と発生削減技術の開発」

- 5) 秋山博子, 澤本卓治, 中島泰弘, 須藤重人, 西村誠一, 八木一行: 平成17年度農業環境技術研究所成果情報 (第22集), p38 (2006) 「農耕地からの亜酸化窒素の排出係数は現在のIPCCデフォルト値よりも低い」
 - 6) 秋山博子, 八木一行: 農環研ニュース, 71, 5-6 (2006) 「農耕地から発生する亜酸化窒素の排出係数の推定と発生削減技術の開発」
 - 7) R. D. Lasco, S. Ogle, J. Raison, L. Verchot, R. Wassmann and K. Yagi: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (2006) “Cropland”
 - 8) K. Smakgahn, T. Fumoto, K. Yagi: Proceedings of International Conference on Regional Carbon Budgets, p. 246-251, Chinese National Committee for the International Geosphere-Biosphere Program (2006) “Mitigation options for methane emissions from rice fields.”
 - 9) H. Akiyama, K. Yagi and Y. Yan: NIAES Annual Report 2006 (2007) “Estimating N₂O emission factors in rice paddy fields”
 - 10) 八木一行, 秋山博子, 顔 暁元: 平成18年度研究成果情報, 農業環境技術研究所 (2007) 「2006年版IPCCガイドラインに採用された水田から発生するメタンの新しい算定方法」
 - 11) 秋山博子, 八木一行, 顔 暁元: 平成18年度研究成果情報, 農業環境技術研究所 (2007) 「京都議定書第一約束期間の開始を前に, 農耕地から発生する亜酸化窒素の新しい排出係数を算定」
 - 12) 秋山博子, 八木一行: 農業環境技術研究所年報 (2007) 「農耕地から発生する亜酸化窒素の排出係数の推定と発生削減技術の開発」
 - 13) 秋山博子, 八木一行: 農林水産研究ジャーナル, 3, 27-29 (2007) 「農耕地から発生する温室効果ガスである亜酸化窒素の発生量を正しく推定」
- (2) 口頭発表 (学会)
- 1) X. Yan, H. Akimoto and T. Ohara: Integrated Land Ecosystem-Atmosphere Processes Study International Open Science Conference, Helsinki, Finland (2003) “Methane and nitrogen oxide emissions from croplands in East, Southeast and South Asia”
 - 2) 木村園子, 梁雷, 波多野隆介: 日本土壌肥料学会 (2003) 「炭素・窒素マネージメントのリスク評価のためのエコバランスモデルの開発」
 - 3) 木村園子, 波多野隆介: 土壌肥料学会北海道支部会 (2003) 「農業と環境の関係解析による地域評価」
 - 4) Z. Mu, S. D. Kimura, S. Tamura, Y. Toma and R. Hatano: 土壌肥料学会北海道支部会 (2003) “Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under different crop in Mikasa, central Hokkaido”
 - 5) 八木一行, 秋山博子: 日本土壌肥料学会 (2004) 「農耕地土壌からの亜酸化窒素発生量

の精緻化に関する世界の動向」

- 6) 秋山博子, 八木一行: 日本土壌肥料学会 (2004) 「日本の農耕地からの亜酸化窒素発生量のデータベース」
- 7) H. Akiyama, H. Tsuruta and K. Yagi: 3rd Nitrogen Conference, Nanjing, China (2004) “Effect of Organic Fertilizer Application to Japanese Andisol on N₂O and NO Emissions”
- 8) R. Hatano, T. Nagumo, S.D. Kimura and L. Liang: The 3rd International Nitrogen Conference Nanjing (2004) “Relationship between the magnitude of nitrogen pollution and the structure of nitrogen cycling associated with food production and consumption in various countries”
- 9) S.D. Kimura and R. Hatano: The 3rd International Nitrogen Conference Nanjing (2004) “An Eco-Balance approach to evaluate the impact of agricultural land use on regional sustainability”
- 10) S.D. Kimura and R. Hatano: The Sixth International Conference on EcoBalance International Congress Center, Tsukuba (2004) “Special demand of agricultural land use on Eco-Balance - a case study at regional scale”
- 11) S.D. Kimura and R. Hatano: The 5th International Symposium for Environmental Issues - Management of Rice Environment and Material Cycling in Paddy Field Biotope- Kyung Hee University, Korea (2004) “Uncertainty analysis of the N flow at a drainage basin scale - a case study of the Ikushunbetsu River Basin - “
- 12) Z. Mu, S.D. Kimura and R. Hatano: The 3rd International Nitrogen Conference Nanjing (2004) “Nitrous oxide emission from upland crop soils in Central Hokkaido”
- 13) Z. Mu, S.D. Kimura and R. Hatano: 日本土壌肥料学会 (2004) “N₂O fluxes in relation to C and N dynamics in upland crop soils in Central Hokkaido”
- 14) 田村さつき, 伊折淑子, 波多野隆介: 日本土壌肥料学会 (2004) 「土壌型の異なる水田からのCH₄, N₂O, CO₂放出」
- 15) 当真要, 草佳那子, 澤本卓治, 波多野隆介: 日本土壌肥料学会 (2004) 「農耕地から放出されるN₂Oの長期モニタリング-三笠市タマネギ畑における事例研究」
- 16) 木村園子, 波多野隆介: 日本土壌肥料学会 (2004) 「幾春別川流域の農耕地における温室効果ガス削減策のエコバランス評価」
- 17) X. Yan, H. Akiyama, and K. Yagi: Third USDA Symposium on Greenhouse Gases & Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry (2005) “Factors affecting methane and nitrous oxide emissions from croplands in Asia and potential mitigation options”
- 18) H. Akiyama, K. Yagi, and X. Yan: European Geosciences Union 2005, Vienna (2005) “Direct N₂O emissions from rice paddy fields: summary of available data”

- 19) 秋山博子, 八木一行, Xiaoyuan Yan : 日本土壤肥料学会 (2005) 「水田から発生する亜酸化窒素の直接発生」
- 20) H. Akiyama, K. Yagi, X. Yan: Geophysical Research Abstracts, 7, EGU05-A-06030 (2005)
“Direct N₂O emissions from rice paddy fields: summary of available data”
- 21) H. Akiyama, K. Yagi, X. Yan: International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions (2005) “Direct N₂O emissions and estimate of N₂O emission factors from Japanese agricultural soils”
- 22) X. Yan, H. Akiyama, K. Yagi: International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions (2005) “Methane emission from global rice fields and effects of potential mitigation options: Application of 2006 IPCC guidelines”
- 23) S. D. Kimura and R. Hatano: The 6th International Symposium for Environmental Issues - Management of Rice Environment and Material Cycling in Paddy Field (2005)
“Uncertainty analysis of the nitrogen flow at a drainage basin scale - A case study of the Ikushunbetsu River Basin - “
- 24) Z. Mu, S. D. Kimura and R. Hatano: 日本土壤肥料学会 (2005) “N₂O fluxes in relation to C and N dynamics in upland crop soils in Mikasa, Central Hokkaido”
- 25) 木村園子ドロテア, 木志堅, 当真要, 波多野隆介 : 日本土壤肥料学会 (2005) 「三笠・幾春別川流域におけるCH₄, N₂O放出削減効果の定量的把握およびエコバランス評価」
- 26) 当真要, 波多野隆介 : 日本土壤肥料学会 (2005) 「北海道三笠市たまねぎ畑における化学肥料, 作物残渣, 土壌からのN₂O, NO排出」
- 27) 当真要, 波多野隆介 : 日本土壤肥料学会北海道支部大会 (2005) 「農地土壌への作物残渣投入がN₂O放出に与える影響」
- 28) 麓多門, 小林和彦, C. Li, 八木一行, 長谷川利拡 : 日本土壤肥料学会関東支部大会 (2005)
「プロセスモデルによる水田からのメタン発生量の予測—有機物施用の影響—」
- 29) H. Akiyama : ESF-JSPS Frontier Science Conference Series for Young Researchers: Climate Change (2006) “N₂O emission from Agricultural field -Estimate of N₂O emission factor from rice paddy field”
- 30) W. Cheng, H. Akiyama, S. Nishimura, S. Sudo, K. Yagi, A. Hartley and J.P. Megonigal: 18th World Congress of Soil Science, The International Union of Soil Science, (2006)
“Parameterized soil chemical properties for evaluating methane production from rice paddies”
- 31) 秋山博子, X. Yan, 八木一行 : 日本土壤肥料学会 (2006) 「日本の農耕地土壌における亜酸化窒素の排出係数の推定」
- 32) Z. Mu, Y. Toma, S. D. Kimura and R. Hatano : 日本土壤肥料学会 (2006) ” Soil respiration and carbon sequestration in different upland cropping systems in

central Hokkaido”

- 33) 当真 要, 波多野隆介: 日本土壤肥料学会 (2006) 「北海道三笠市たまねぎ畑におけるバックグラウンドの N_2O 発生」
- 34) 麓多門, 長谷川利拡: 日本土壤肥料学会関東支部大会 (2006) 「有機物連用による水田土壌の炭素・窒素蓄積過程のシミュレーション」
- 35) 当真 要, 波多野 隆介: 日本土壤肥料学会北海道支部大会 (2006) 「三笠市たまねぎ畑からの N_2O 発生量の推定— Emission Factor を用いたモデルの作成と適合性の検討」
- 36) S.D. Kimura and R. Hatano: 18th World Congress of Soil Science, Philadelphia, Pennsylvania, USA (2006) “Uncertainty analysis of human and environmental factors on nitrogen flow at different spatial scales”
- 37) S.D. Kimura, Z. Mu, Y. Toma and R. Hatano: International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions. Tsukuba (2006) “An Eco-Balance Analysis of Global Warming Potential, Farmland Surplus Nitrogen and Yield of Six Agricultural Land Uses in the Ikushunbetsu Watershed”
- 38) Z. Mu, Y. Toma, S.D. Kimura and R. Hatano: International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions. Tsukuba (2006) “Soil respiration from agricultural upland soils in relation to soil climate and characteristics”
- 39) S.D. Kimura, Z. Mu, Y. Toma and R. Hatano: International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions. Tsukuba (2006) “An Eco-Balance Analysis of Global Warming Potential, Farmland Surplus Nitrogen and Yield of Six Agricultural Land Uses in the Ikushunbetsu Watershed”
- 40) 当真要, 波多野隆介: 日本土壤肥料学会 (2006) 「北海道三笠市たまねぎ畑におけるバックグラウンドの N_2O 発生」
- 41) T. Fumoto, T. Yanagihara, M. Sakurai and E. Gotou: International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions, Tsukuba (2006) “Estimation of CH_4 emission from rice paddy fields in Hokkaido region of Japan, using a process-based biogeochemical model”
- 42) K. Smagahn, T. Fumoto and K. Yagi: 日本土壤肥料学会 (2006) “Methane Emissions from Rice Production with Revised DNDC Model: Validation and Sensitivity Analysis”
- 43) 麓多門, 長谷川利拡: 日本土壤肥料学会関東支部大会 (2006) 「有機物連用による水田土壌の炭素・窒素蓄積過程のシミュレーション」
- 44) H. Akiyama, K. Yagi and X. Yan: Nitrogen 4th Conference (2007) “Direct N_2O emissions and estimate of N_2O emission factors from Japanese agricultural soils -Summary of available data”
- 45) S.D. Kimura, Z. Mu, Y. Toma and R. Hatano: 2nd International Workshop on Ecological Informatics of Chaos and Complex Systems- Spectral Imaging for Ecosystem Modeling-

Tokyo (2007) “Green house gas emission in a regional scale - land use change analysis in Ikushunbetsu river watershed “

- 46) 当真要, 木村園子ドロテア, 木志堅, 波多野隆介: 日本土壤肥料学会北海道支部大会 (2007) 「北海道三笠市における土地利用変化に伴う温室効果ガス発生量の変化」
- 47) Y. Toma, S.D. Kimura, K. Fujiwara, Y. Hirose, K. Kusa and R. Hatano: Nitrogen 4th conference (2007) “Variation in the emission factor of N₂O induced by chemical nitrogen fertilizer and organic matter: A case study of onion fields in Mikasa, Hokkaido, Japan”
- 48) Y. Toma, S.D. Kimura, K. Fujiwara, Y. Hirose, K. Kusa and R. Hatano: East and Southeast Asian Federation of Soil Science. Tsukuba (2007) “Temporal variation in CO₂ and N₂O emissions from agricultural bare fields in Mikasa, Hokkaido, Japan”
- 49) 麓多門, 片柳薫子, 八木一行: 日本土壤肥料学会 (2007) 「水田からのメタン発生量観測データによるDNDCモデルの検証」
- 50) K. Smagahn, 麓多門, 八木一行: 日本土壤肥料学会 (2007) “Modeling effects of field drainage on methane emission from rice fields.”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

- 1) 平成18年3月7～9日に、国際ワークショップ「東アジア農業生態系における温室効果ガス発生」を開催 (エポカルつくば、参加者約100名)
- 2) 平成18年12月13～14日に、国際ワークショップ「モンスーンアジアの農業生態系からの温室効果ガス：放出量と削減策の評価」を開催 (エポカルつくば、参加者約50名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

<テレビ>

- 1) NHK地上波デジタル放送, ニュース (12:00～) 「温室効果ガスである亜酸化窒素の水田からの排出係数の見直し」について放映, 18年4月21日
- 2) NHK総合, 「おはよう日本」において, 「温室効果ガスである亜酸化窒素の水田からの排出係数の見直し」について放映, 18年4月26日

<プレスリリース>

- 1) 平成18年4月21日, 独立行政法人 農業環境技術研究所
「農耕地から発生する温室効果ガスである亜酸化窒素の発生量を正しく推定－施肥法改善による抑制の可能性も明らかに－」, 筑波研究学園都市記者会, 農政記者クラブ, 農林記者会

<新聞報道>

- 1) 毎日新聞, 18年4月26日, 19面, 「水田で使う窒素肥料の温暖化影響を過大評価」
- 2) 日経産業新聞, 18年4月25日, 10面, 「水田の温暖化ガス N_2O 発生量, 畑の1/4 農業環境研確認」
- 3) 茨城新聞, 18年4月22日, 21面, 「水田発生は過大評価－温室効果ガスの亜酸化窒素, 農業環境研が発表」
- 4) 化学日報工業, 18年5月2日, 「肥料由来の N_2O 発生量, IPCC数値は過大－農環研が確認」3面
- 5) 河北新報, 18年4月22日, 「温室効果ガスの亜酸化窒素, 水田は発生抑制, 農業環境技研発表」
- 6) 熊本日日新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価, 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 7) 京都新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価, 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 8) 神戸新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価」
- 9) 四国新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価/温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 10) 西日本新聞インターネット版, 18年4月21日 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 11) 徳島新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 12) 山陽新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 13) 南日本新聞インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 14) 山陰中央新報インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 15) 岩手新報インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 16) 東奥日報インターネット版, 18年4月21日, 「水田からの発生過大評価 温室効果ガスの亜酸化窒素」
- 17) 日本農業新聞, 18年12月27日「農業技術この1年, 10大農林水産研究成果から(下)6位 農耕地から発生する温室効果ガスの推定」

(6) その他

- 1) 平成16年度日本土壌肥料学会賞(本研究の成果を含む受賞): 波多野隆介

- 「地域における窒素循環と流出のモニタリングに関する研究」
- 2) 平成18年度文部科学大臣表彰若手科学者賞受賞（本研究の成果を含む受賞）：秋山博子
「地球温暖化防止分野における亜酸化窒素等の発生制御の研究」
 - 3) 平成20年度日本土壌肥料学会奨励賞（本研究の成果を含む受賞）：秋山博子
「農耕地土壌における亜酸化窒素の発生量評価とその発生削減に関する研究」